

П. Я. Бондаренко, В. В. Мартиненко, В. А. Юхно, В. Є. Сула

## ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

**Анотація.** В роботі визначено коефіцієнта холодовидатності для ефективного охолодження продукції..

**Ключові слова:** кондиціонування, вологовміст, вологість.

**Abstract.** The work determines the coefficient of cooling capacity for effective cooling of products

**Keywords:** conditioning, moisture content, humidity.

Актуальність роботи полягає в тому, що підвіз та збереження продуктів для особового складу у теплу пору року ускладнюється через зростання температури, що може спричинити зараження хвороботворними бактеріями, для запобігання псування продуктів пропонується використовувати холодильні машини.

Метою роботи є визначення коефіцієнта холодовидатності для ефективного охолодження продукції.

Температура об'єкту охолодження (0 °С). Температура охолодної води 10 °С. Перегрів пари перед I ступенем на 5 °С. Температура після проміжного охолодника дорівнює температурі конденсації. Холодовидатність  $Q_0 = 50$  кВт.

### 1.1 Розрахунковий режим

Температура кипіння –  $t_0 = t_{\text{об'єкту}} - \Delta t = 0 - (7-10 \text{ повітря, } 3-5 \text{ рідина}) = -10^\circ\text{C}$ .

Температура конденсації –  $t_k = t_{\text{ох.в}} + \Delta t = 10 + (7-10 \text{ повітря, } 3-5 \text{ рідина}) = 15^\circ\text{C}$ .

Температура всмоктування 1 компр  $t_1' = t_0 + \Delta t_{\text{перегр}} = -10 + 15 = 5^\circ\text{C}$ .

### 1.2 Визначення тисків

Тиск кипіння ( $-10^\circ\text{C}$ )  $P_0 = 2,8$  бар;

Тиск конденсації ( $15^\circ\text{C}$ )  $P_k = 7,8$  бар;

Проміжний тиск  $P_{\text{шт}} = P_0 \cdot \lambda = P_0 \cdot (P_k/P_0)^{1/n} = 2,8 \cdot (7,8/2,8)^{1/2} = 4,7$  (бар).

### 1.3 Визначення ентальпій точок, кДж/кг

$h_1 = 1650$ ;  $h_1' = 1660$ ;  $h_2 = 1740$ ;  $h_3 = 1710$ ;  $h_6 = h_7 = 480$ ;  $h_8 = 1660$   $h_9 = h_{10} = 380$ .

### 1.4 Витрата холодоагенту через випарник

$$G_0 = Q_0 / q_0 = Q_0 / (h_1 - h_{10}) = 50 / (1650 - 380) = 0,039 \text{ (кг/с)}.$$

### 1.5 Тепловий баланс проміжної посудини (витрата ХА через конденсатор)

$$G_k = G_8 + G_0 ,$$

$$G_k \cdot h_7 = G_8 \cdot h_8 + G_0 \cdot h_9 .$$

$$G_k = G_0 \cdot (h_8 - h_9) / (h_8 - h_7) =$$

$$= 0,039 \cdot (1670-380)/(1670-480) = 0,042 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата пари з проміжної посудини

$$G_8 = G_k - G_0 = 0,043 - 0,039 = 0,004 \text{ (кг/с)}.$$

1.6 Баланс точки змішування пари (для визначення ентальпії т.4)

$$G_k \cdot h_4 = G_8 \cdot h_8 + G_0 \cdot h_3,$$

$$h_4 = (G_8 \cdot h_8 + G_0 \cdot h_3) / G_k =$$

$$=(0,004 \cdot 1670 + 0,039 \cdot 1710) / 0,042 = 1746 \text{ (кДж/кг)}.$$

1.7 Ентальпія пари після 2 компресора  $h_5 = 1780$  (кДж/кг).

1.8 Питомі потужності елементів холодильної машини, кДж/кг

- питома холодовидатність  $q_0 = h_1 - h_{10} = 1650 - 380 = 1270$  ;

- питома робота 1-го компресора  $L_1 = h_2 - h_1 = 1740 - 1650 = 110$  ;

- питома потужність проміжного охолодника  $q_{\text{пр.ох}} = h_2 - h_3 = 1740 - 1710 = 30$  ;

- питома робота 2-го компресора  $L_2 = h_5 - h_4 = 1780 - 1746 = 34$  ;

- питома потужність конденсатора  $q_k = h_5 - h_6 = 1780 - 480 = 1300$ .

1.9 Потужності елементів схеми, кВт

- потужність 1-го компресора  $N_1 = L_1 \cdot G_0 = 110 \cdot 0,039 = 4,3$  ;

- потужність проміжного охолодника  $Q_{\text{пр.ох}} = q_{\text{пр.ох}} \cdot G_0 = 30 \cdot 0,039 = 1,17$  ;

- потужність 2-го компресора  $N_2 = L_2 \cdot G_k = 34 \cdot 0,043 = 1,43$  ;

- потужність конденсатора  $Q_k = q_k \cdot G_k = 1300 \cdot 0,042 = 54,6$  .1.11

1.10 Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = Q_0 / N_{\text{сум}} = 50 / (4,3 + 1,43) = 8,7 .$$

Повне охолодження

2.2 Розрахунковий режим

Температура кипіння –  $t_0 = t_{\text{об'єкту}} - \Delta t = 0 - (7-10 \text{ повітря, 3-5 рідина}) = -10^\circ\text{C}$ .

Температура конденсації –  $t_k = t_{\text{ох.в}} + \Delta t = 10 + (7-10 \text{ повітря, 3-5 рідина}) = 15^\circ\text{C}$ .

Температура всмоктування 1 компр  $t_1' = t_0 + \Delta t_{\text{перегр}} = -10 + 15 = 5^\circ\text{C}$ .

2.3 Визначення тисків

Тиск кипіння ( $-10^\circ\text{C}$ )  $P_0 = 2,8$  бар;

Тиск конденсації ( $15^\circ\text{C}$ )  $P_k = 7,8$  бар;

Проміжний тиск  $P_{\text{шт}} = P_0 \cdot \lambda = P_0 \cdot (P_k/P_0)^{1/n} = 2,8 \cdot (7,8/2,8)^{1/2} = 4,7$  (бар).

## 2.4 Визначення ентальпій точок, кДж/кг

$h_1 = 1650$ ;  $h_1' = 1660$ ;  $h_2 = 1740$ ;  $h_3 = 1710$ ;  $h_4 = 1660$ ;  $h_8 = 1670$ ;  $h_6 = h_7 = 480$ ;  $h_9 = h_{10} = 380$ .

## 2.5 Витрата холодоагенту через випарник

$$G_0 = Q_0 / q_0 = Q_0 / (h_1 - h_{10}) = 50 / (1650 - 380) = 0,039 \text{ (кг/с)}.$$

## 2.6 Баланс точки змішування пари (для визначення ентальпії т.4)

$$G_k = G_0 \cdot \frac{h_3 - h_8}{h_4 - h_7} = 0,039 \cdot \frac{1710 - 480}{1660 - 380} = 0,037$$

## 2.7 Ентальпія пари після 2 компресора $h_5 = 1760$ (кДж/кг).

## 2.8 Питомі потужності елементів холодильної машини, кДж/кг

- питома холодовидатність  $q_0 = h_1 - h_{10} = 1650 - 380 = 1350$  ;
- питома робота 1-го компресора  $L_1 = h_2 - h_1' = 1740 - 1650 = 110$  ;
- питома потужність проміжного охолодника  $q_{\text{пр.ох}} = h_2 - h_3 = 1740 - 1710 = 30$  ;
- питома робота 2-го компресора  $L_2 = h_5 - h_4 = 1780 - 1660 = 120$  ;
- питома потужність конденсатора  $q_k = h_5 - h_6 = 1760 - 480 = 1280$ .

## 2.9 Потужності елементів схеми, кВт

- потужність 1-го компресора  $N_1 = L_1 \cdot G_0 = 110 \cdot 0,039 = 4,3$  ;
- потужність проміжного охолодника  $Q_{\text{пр.ох}} = q_{\text{пр.ох}} \cdot G_0 = 30 \cdot 0,037 = 1,11$  ;
- потужність 2-го компресора  $N_2 = L_2 \cdot G_k = 120 \cdot 0,037 = 4,4$  ;
- потужність конденсатора  $Q_k = q_k \cdot G_k = 1280 \cdot 0,037 = 1,7$  .

## 2.10 Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = Q_0 / N_{\text{сум}} = 50 / (4,3 + 4,4) = 5,7 .$$

Провівши розрахунки за повним і не повним охолодним циклом, ми дійшли висновку, що не повний цикл є ефективнішим ніж повний.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Степанов Д. В., Степанова Н. Д. Холодильна техніка та технологія. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2008. - 95 с.
2. Степанова Н.Д. Теплові мережі. Навчальний посібник / Н. Д. Степанова, Д. В. Степанов. – Вінниця : ВНТУ, – 2009. – 135 с.
3. Пішенін В. О. Основи конструювання: навчальний посібник / В. О. Пішенін, Н. В. Пішеніна. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 87 с.

4. Чепурний М. М. Розрахунки тепломасообмінних апаратів / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця: ВНТУ, 2001. – 130 с.

**Бондаренко Павло Якович** – старший викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, ORCID 0009-0004-4223-4451, м. Вінниця, e-mail: [pavlobondarenko1970@gmail.com](mailto:pavlobondarenko1970@gmail.com)

**Мартиненко Віталій Вікторович** – студент групи ТЕ-21б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, група 04-23, кафедра військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [fatamor213141@gmail.com](mailto:fatamor213141@gmail.com)

**Юхно Віталій Анатолійович** – старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: [1970yva@ukr.net](mailto:1970yva@ukr.net)

**Сула Володимир Євгенович** – старший викладач кафедри теорії та конструкції автомобільної та спеціальної техніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: [sula72@ukr.net](mailto:sula72@ukr.net)

**Bondarenko Pavlo Yakovych** – Senior Lecturer of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, ORCID 0009-0004-4223-4451, Vinntsia, e-mail: [pavlobondarenko1970@gmail.com](mailto:pavlobondarenko1970@gmail.com)

**Martynenko Vitalii V.** – student of group TE-21b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, group 04-23, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [fatamor213141@gmail.com](mailto:fatamor213141@gmail.com)

**Yukhno Vitaly Anatoliyovych** – senior lecturer of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Ivan KozhedubKharkiv National University of the Air Force, Kharkiv, e-mail: [1970yva@ukr.net](mailto:1970yva@ukr.net)

**Sula Volodymyr Yevhenovych** – senior teacher of the Department of Theory and Design of Automotive and Special Equipment, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, e-mail: [sula72@ukr.net](mailto:sula72@ukr.net)